Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 3, Fall. 2018, p. 651-664

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۶۶۴-۶۵۱

تأثیر کودهای نانو کلات آهن و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت شرایط تنش کمبود آب

یزدان ایزدی[1*] - سید علی محمد مدرس ثانوی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کود کلاته آهن و منگنز در کاهش اثرات کمبود آب بر عملکرد دانه، عملکرد پروتئین و برخی خصوصیات کمی گیاه ماش رقم پرتو، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر اساس طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. در این تحقیق تنش کم‌آبی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شامل بدون قطـع آبیـاری (آبیاری مطلوب)، قطع آبیاری در مرحله زایشی (تشکیل پنجمین برگ سه برچه‌ای، گل‌دهی) تا وقتی‌که ۷۰٪ ظرفیت زراعی تخلیه گردد، قطع آبیاری در مرحله رویشی (ارتفاع ۱۶-۱۲ سانتی‌متری، رشد اولیه) تا وقتی‌که ۷۰٪ ظرفیت زراعی تخلیه گردد و محلول‌پاشی به‌عنـوان عامـل فرعـی در ۱۰ سـطح شامل تیمار بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی آب خالص (مقطر)، محلول‌پاشی کودهای نانو کلات شامل: آهن یک در هزار، آهن سه در هزار، منگنز ۱/۵ در هزار، منگنز سه در هزار، آهن یک در هزار + منگنز ۱/۵ در هزار، آهن یک در هزار + منگنز سه در هزار، آهن سه در هـزار و منگنـز ۱/۵ در هـزار و آهن سه در هزار و منگنز سه در هزار در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اثر کمبود آب و محلول‌پاشی نانو کلات آهن و منگنز بر اکثـر صـفات مـورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در میان سطوح تنش کم‌آبی، کم‌ترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد برای اکثر صفات مـورد مطالعـه، اعمال تنش در مرحله زایشی و بیش‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد (آبیاری مطلوب) مشاهده شد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشـی سـطوح مختلـف نـانو کلات آهن و منگنز در مراحل رویشی و زایشی موجب افزایش میزان عملکرد و اجزای عملکرد خصوصاً در مرحله‌ی رشد رویشی شد حال آن‌کـه تیمـار شاهد محلول‌پاشی (بدون محلول‌پاشی) کم‌ترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد را داشت. همچنین، اثرات متقابل نانو کـلات آهـن و منگنـز و سـطوح مختلف تنش کمبود آب بر همه‌ی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. قطع آبیاری در مرحله زایشی موجب کاهش و استفاده از نانو ذرات به‌ویژه تیمار نانو کلات ۱ در هزار آهن + ۳ در هزار منگنز موجب افزایش میزان عملکرد دانه (۱۷۶۵ کیلوگرم در هکتـار) و عملکـرد پـروتئین (۵۱۹/۲ کیلوگرم در هکتار) گردید. بنابراین، به‌نظر می‌رسد عوارض جانبی ناشی از کمبود آب می‌تواند با محلول‌پاشی نانو کلات آهـن و منگنـز کـاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، حبوبات، عملکرد پروتئین، عملکرد دانه

مقدمه

حبوبات سومین خانواده از گیاهان گل‌دار پس از خانواده کاسنی و ثعلبیـان اسـت (Smartt, 1990) کـه شـامل بـیش از ۷۳۰ جـنس و ۱۹۰۰۰ گونه با توزیع گسـترده در جهـان مـی‌باشـد (Graham and Carroll, 2003). از لحاظ اقتصادی، حبوبات پس از غـلات در رده‌ی دوم تولید محصولات زراعی هستند و ۲۷٪ از تولید محصولات غذایی را در دنیا به خود اختصـاص داده‌انـد. مـاش بـا نـام علمـی *Vigna Radiata* L. Wilczek گیاهی از خانواده بقولات می‌باشد کـه نسـبت به سایر حبوبات از لحاظ سطح زیر کشت و تولید در برخی کشـورها و نیز در مقیاس جهانی از درجه‌ی اهمیت بـالاتری برخـوردار اسـت. در ایران نیز کشت حبوباتی چون مـاش بـه‌واسـطه‌ی داشـتن ۲۲ تـا ۲۸ درصد پروتئین از منبع گیاهی اهمیت بیشتری نسبت به سایر حبوبـات دارد (Khodabakhsh *et al*., 2011). سطح زیر کشت ماش در دنیـا حدود ۵/۳ میلیون هکتار و تولید سالانه‌ی آن ۲/۳ میلیون تن است. در ایران نیز سطح زیر کشت ایـن گیـاه حـدود ۲۶/۳۰۰ هکتـار و تولیـد سالانه‌ی آن ۲۶/۶۰۰ تن می‌باشـد (Firouzabadi and Farahani,

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران
(*- نویسنده مسئول: Email:izady.nike70@gmail.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i3.70133

2013). قسمت اعظم ماش در کشورهای در حال توسعه یعنی مناطقی که کم و بیش با تنش خشکی مواجه هستند تولید می‌شود. تولید قابل اطمینان در اکثر این مناطق وابسته به حداقل آبیاری است با این وجود، منابع آبی محدود هستند (Rhode, 1999).

کشور ایران با متوسط بارش ۲۴۰ میلی‌متر در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه‌بندی می‌گردد (Cakmak, 2000). به دلیل ویژگی‌های خاص مناطق نیمه‌خشک از جمله میزان کم بارندگی، پراکنش نامنظم آن و دمای بالا سبب شده است تا آب به‌عنوان اولین عامل محدودکننده تولید ماش در این مناطق معرفی گردد. بنابراین، در مناطق کم‌باران مانند ایران، در برنامه‌ریزی آبیاری بایستی به بازدهی آب مصرف‌شده برای آبیاری به‌طور جدی توجه شود (El Hafid *et al*., 1998).

تغذیه‌ی مناسب گیاهان در مقاومت آن‌ها به انواع تنش‌های زنده و غیرزنده نقش بسیار مؤثری دارد. گیاهی که خوب تغذیه شده و به مقدار کافی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف را دریافت‌کرده باشد، مقاومت بهتری به خشکی خواهد داشت و در این راستا کمیت و کیفیت محصول نیز تحت‌تأثیر قرار خواهد گرفت (Taiz and Zeiger, 2002). عنصر آهن به‌عنوان عامل اکسایش و کاهش در بخشی از ساختمان ناقلانی که در ترافرستی الکترون دخالت دارند نظیر سیتوکروم‌ها و پروتئین‌های غیر هم که در فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن نقش دارند، وجود دارد (Taiz and Zeiger, 2002). نقش این عنصر در تثبیت نیتروژن به‌خوبی مورد بررسی قرار گرفته است (Balakrishnan, 2000; Ruiz *et al*., 2000; Welch *et al*., 1991). منگنز در فعال‌سازی واکنش‌های متابولیکی مهم در گیاهان، تسریع در جوانه‌زنی و رسیدگی گیاه، افزایش قابلیت دسترسی به فسفر و کلسیم، شرکت در واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء و سیستم‌های انتقال الکترون، جزء ساختمانی متالوپروتئین‌ها، کمک به متابولیسم آهن و آسیمیلاسیون نیترات، افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیر زنده و تثبیت نیتروژن در بقولات نقش مهمی را برعهده دارد (Fageria and Baligar, 2001).

استفاده از فناوری نانو در کلیه عرصه‌ها از جمله کشاورزی در حال گسترش می‌باشد. فرآورده‌های نانو شامل مخلوطی از ذره‌های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند خصوصیات فیزیکوشیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (Monica and Cremonini, 2009). گزارش‌های پراکنده‌ای در مورد اثر عناصر آهن و منگنز در افزایش عملکرد ماش وجود دارد و نتایج مطالعات موجود بیانگر واکنش متفاوت گونه‌های مختلف گیاهان به مواد غذایی تهیه شده به شکل نانو می‌باشد (Zhu *et al*., 2008). اما مطالعه‌ای در مورد اثر این عناصر هنگام بروز تنش کم‌آبی و نقش آن‌ها روی عملکرد کمی و کیفی گیاه ماش صورت نگرفته است. با توجه به این‌که اثر محلول‌پاشی این عناصر در شرایط تنش کم‌آبی روی ماش مطالعه نشده‌است، این تحقیق برای درک جنبه‌های مختلف اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و منگنز بر کمیت و کیفیت ماش تحت تنش کم‌آبی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت‌مدرس تهران با موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۸ دقیقه شرقی و ۱۲۱۵ متر ارتفاع از سطح دریا در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. به‌منظور تعیین بافت خاک، میزان عناصر معدنی (نیتروژن، آهن و منگنز) درصد کربن آلی و pH خاک از عمق صفر تا ۳۰ و۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک به روش زیگزاگ نمونه‌برداری شد. نتایج آزمایش خاک نشان‌دهنده آن بود که خاک مزرعه بافتی شنی- لومی داشت و میزان ماده آلی، نقطه پژمردگی و درصد نیتروژن کل خاک به‌ترتیب برابر ۲/۳۲، ۶/۷۸ و ۰/۱۳۴ درصد و همچنین غلظت عناصر آهن و منگنز برابر با ۴/۶۷ و ۶/۴ پی‌پی‌ام بود. همچنین، آمار و اطلاعات هواشناسی منطقه آزمایشی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- متوسط دمای ماهانه، میانگین سرعت باد ماهانه و میزان بارندگی در طی فصل رشد گیاه ماش در سال ۱۳۹۳

Table 1- The average of monthly temperature, monthly mean wind speed and precipitation during the growing season mung bean plant in 2013

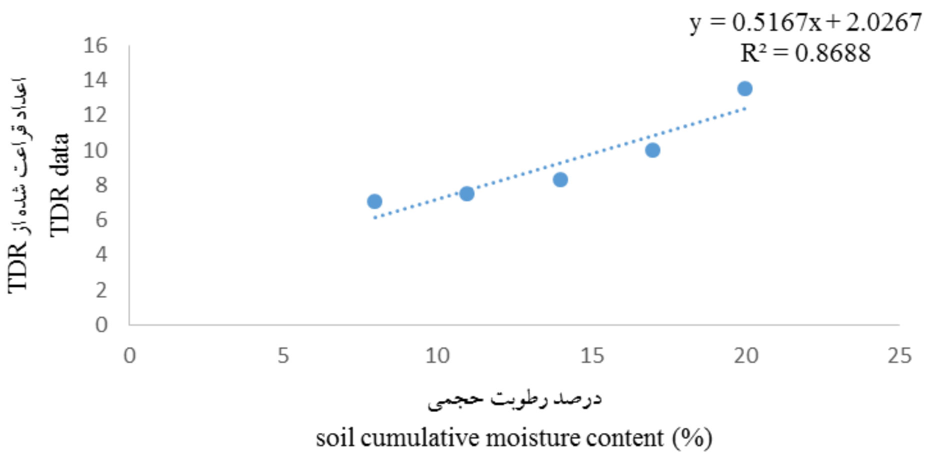
ماه Month	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	تیر June	مرداد July	شهریور August	مهر September
میانگین دمای ماهانه (ºC) Average monthly temperatures	14.2	15.9	21.5	27.7	31.7	30.8	29.6
میانگین سرعت باد ماهانه ($m\ s^{-1}$) Average monthly wind speed	2.7	2.3	2.9	2.5	3.0	2.3	3.2
میزان بارندگی ماهانه (mm) Monthly rainfall	6.0	6.4	7.5	0	0	0	0

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با عامل تنش کم‌آبی در کرت‌های اصلی با سه سطح شامل بدون قطع آبیاری (آبیاری مطلوب)، قطع آبیاری در مرحله زایشی (تشکیل پنجمین برگ سه برچه‌ای، گل‌دهی) تا وقتی‌که ۷۰٪ ظرفیت زراعی تخلیه گردد، قطع آبیاری در مرحله رویشی (ارتفاع ۱۲–۱۶ سانتی‌متری، رشد اولیه) تا وقتی‌که ۷۰٪ ظرفیت زراعی تخلیه گردد (Uddin and Parvin, 2013) و عامل محلول‌پاشی در کرت‌های فرعی با ۱۰ سطح شامل تیمار بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی آب خالص (مقطر)، محلول‌پاشی کودهای نانو کلات شامل: آهن ۱ در هزار، آهن سه در هزار، منگنز ۱/۵ در هزار، منگنز سه در هزار، آهن ۱ در هزار + منگنز ۱/۵ در هزار، آهن ۱ در هزار + منگنز سه در هزار، آهن سه در هزار و منگنز ۱/۵ در هزار و آهن سه در هزار و منگنز سه در هزار ایزات و همکاران (Ezzat *et al*., 2012)، در دو مرحله به فاصله‌ی دو هفته از هم به‌دلیل اجتناب از اثر سمیت احتمالی غلظت بالای آن‌ها (قبل و بعد از اعمال تنش در هر مرحله رشد رویشی و رشد زایشی) انجام شد. محلول‌پاشی کرت بدون تنش کم‌آبی همزمان با کرت‌های دارای تنش رویشی انجام شد (Maleki Farahani *et al*., 2015). با این غلظت هیچ‌گونه علائم سمیت آهن و منگنز در گیاه مشاهده نشد. نانوکلات آهن و منگنز حلالیت بسیار بالایی در آب دارند و به‌راحتی از برگ‌ها جذب می‌شوند. کود نانو کلات آهن ۹ درصد و منگنز ۱۲ درصد نیز پس از بررسی و تأیید مقیاس آن توسط شرکت کارآفرینی و فناوری ایران (کارگزار ستاد ویژه توسعه فناوری نانو) از شرکت خضراء خریداری شد. بر اساس درصد آهن موجود در کودها، نتایج آنالیز خاک و نیاز گیاه ماش (Ezzat *et al*., 2012) تیمارهای محلول‌پاشی طراحی گشت. برای محلول‌پاشی از سمپاش بادی پشتی با فشار دائم به حجم ۱۲ لیتر استفاده شد. نوع نازل سمپاش از نوع مارپیچی با طرح پاشش مخروط توپر و میزان پاشش ۰/۱ لیتر در مترمربع (۱۰۰۰ لیتر در هکتار) بود.
عملیات آماده‌سازی زمین به‌وسیله‌ی شخم، دیسک و ایجاد کرت انجام شد. ابتدا زمین مورد نظر توسط گاوآهن برگردان‌دار به عمق ۱۵ سانتی‌متر شخم زده شد و سپس به‌منظور خردکردن کلوخه‌ها و نرم‌کردن زمین، عملیات دیسک‌زنی دوبار و به‌صورت عمود برهم انجام شد. بذور مورد استفاده در این تحقیق ماش رقم پرتو بوده که از موسسه پاکان بذر اصفهان تهیه و در تاریخ ۲۳ اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس کشت شد. در هر تکرار سه کرت اصلی به‌فاصله‌ی دو متر از هم و ۳۰=۱۰×۳ کرت فرعی ایجاد شد. هر کرت شامل پنج ردیف کشت به‌فاصله۶۰ سانتی‌متر بود. طول هر ردیف سه متر و بین هر دو کرت نیز یک ردیف نکاشت (به‌فاصله ۶۰ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف‌های کشت، ۱۰ سانتی‌متر بود. با توجه به آزمایش خاک و غنی بودن خاک مزرعه از نظر فسفر و پتاسیم (به‌ترتیب ۳۲ و ۳۱۴ پی‌پی‌ام)، نیازی به کودپاشی زمین در زمان تهیه بستر نبود. کود نیتروژنی به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار به فرم اوره (استارتر) هنگام کاشت، قبل از آبیاری داده شد. مبارزه با علف‌های هرز نیز به‌صورت وجین دستی در طول دوره رشد انجام شد. در تیمار آبیاری مطلوب (عدم اعمال تنش کم‌آبی) آبیاری کرت‌ها به‌میزان لازم و با توجه به توصیه‌های موجود مبنی بر وجود حداقل دو مرتبه آبیاری در هفته برای ماش، دور آبیاری سه روز در نظر گرفته شد (Uddin and Parvin, 2013). تیمار تنش کم‌آبی در دو مرحله‌ی تنش، مرحله رشد رویشی، ابتدای ظهور برگ چهارم (استقرار کامل گیاه) تا هنگام ظهور اولین گل بر روی گیاه ادامه داشت و با ظهور گلدهی این تیمار هم‌زمان با تیمار شاهد آبیاری شد، همچنین تیمار اعمال تنش در مرحله رشد زایشی از ابتدای گلدهی تا رسیدگی ۹۵ درصد غلاف‌ها اعمال شد (Uddin and Parvin, 2013). میزان پتانسیل رطوبتی خاک با توجه به درصد رطوبت حجمی (اعداد به‌دست آمده از TDR) در زمان تنش که با دستگاه TDR اندازه‌گیری شده بود، محاسبه شد. برای کالیبره کردن دستگاه TDR بدین ترتیب عمل شد که قبل از کار گذاشتن لوله‌های TDR مزرعه آبیاری گردید. این رطوبت‌سنج‌ها در یک نقطه برای هر کرت، به فواصل عرضی ۳/۶ متر (با توجه به فاصله‌ی کرت‌ها از یکدیگر) در نظر گرفته شدند. در هر نقطه یک رطوبت‌سنج، در عمق ۲۴ تا ۳۰ سانتی‌متر، نصب شد. برای نصب رطوبت‌سنج‌ها ابتدا به‌وسیله آگر، حفره‌هایی با ابعاد متناسب با اندازه رطوبت‌سنج در زمین حفر و بعد از قرار دادن رطوبت‌سنج‌ها در عمق‌های مشخص، نسبت به پر کردن و متراکم کردن خاک حفره‌ها تا حصول تراکم زمین در حالت اولیه اقدام شد. در این مرحله، برای ارزیابی دقت حسگرها، اقدام به نمونه‌برداری از خاک و تعیین رطوبت آن شد. این آزمایش در خاکی با بافت لومی‌شنی انجام گرفت. هم‌زمان با داده‌برداری از رطوبت خاک با استفاده از TDR اقدام به ثبت داده‌ها (هر ۲۴ ساعت یکبار به مدت ۱۵ روز) گردید. نمونه خاک از عمق معادل طول میله (۲۴ تا ۳۰ سانتی‌متر) هریک از حسگرها با استفاده از مته خاک صورت گرفت و مقدار رطوبت با روش توزین اندازه‌گیری شد. این کار با ۱۵ نوبت داده‌برداری ادامه یافت. چگالی ظاهری هر یک از نمونه‌های خاک، بعد از پایان این مرحله هر یک با سه تکرار از روش sand bottle و در همان عمق اندازه‌گیری شد تا برای تبدیل رطوبت وزنی به رطوبت حجمی مورد استفاده قرار گیرد. در آزمایشگاه میزان رطوبت وزنی، درصد رطوبت حجمی (حاصل ضرب درصد رطوبت وزنی در وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب بر اساس آزمون خاک) اندازه‌گیری و درصد آب قابل استفاده (D) بر اساس معادله ۱ (Martin *et al*., 1991) تعیین و سپس با استفاده از معادله ۲ درصد تخلیه آب قابل استفاده محاسبه شد.

$$D(\%) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\frac{FCi - \theta i}{FCi - Wp} \times 100 \quad (۱)$$

(۲) 100-D= تخلیه آب قابل استفاده (٪)

که در آن n تعداد نمونه خاک گرفته شده از عمق مؤثر توسعه ریشه، FCi رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه (پتانسیل رطوبتی معادل ۱۶ درصد وزنی و ۲۲/۵۶ درصد حجمی قرائت شده توسط دستگاه TDR) در نمونه i ام، θi رطوبت خاک در نمونه i ام و Wp رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم (پتانسیل رطوبتی معادل ۶/۷۸ درصد وزنی و ۹/۵۶ درصد حجمی قرائت شده توسط دستگاه TDR) می‌باشد. از مقایسه رطوبت‌های اندازه‌گیری شده به‌وسیله حسگرها با روش نمونه‌برداری و توزین، اعتبارسنجی صورت گرفت (Vanclooster *et al.*, 1994). سپس بر اساس داده‌های حاصل از رطوبت حجمی خاک و اعداد قرائت شده TDR، منحنی رطوبت خاک رسم گردید.



شکل ۱- منحنی رطوبت خاک به‌دست آمده از اعداد قرائت شده به‌وسیله دستگاه TDR و درصد رطوبت حجمی نمونه‌برداری. محور عمودی چپ اعداد قرائت شده به‌وسیله دستگاه TDR و محور افقی درصد رطوبت حجمی نمونه به‌دست آمده توسط آون نشان می‌دهد. رگرسیون خطی نقاط که با خطوط بریده آبی نشان داده شده است روی دو محور قابل استناد می‌باشد.

Figure 1- Soil moisture curve from TDR data and soil cumulative moisture content (%). Vertical axis: TDR data, Horizontal axis: Volumetric Soil water content (%) using oven. Blue colored regression line of the three axis is the reference of the graph

همچنین در پایان دوره‌ی رشد از هر کرت تعداد پنج بوته (۰/۳ متر مربع) به‌صورت تصادفی و با در نظر گرفتن اثر حاشیه و به هنگام رسیدگی فیزیولوژیک دانه برای محاسبه عملکرد و اجزای عملکرد برداشت گردید.

تجزیه‌های بیوشیمیایی

جهت اندازه‌گیری میزان آهن و منگنز دانه‌ها، ابتدا از نمونه‌ها آرد تهیه کرده، سپس مقدار یک گرم از آرد خشک‌شده در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خاکستر تهیه شد (دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت). نمونه خاکسترها در ۱۰ سی‌سی اسید کلریدریک ۲ نرمال حل شده و به مدت ۳۰ دقیقه روی هات‌پلات در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها را با آب مقطر به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده و با کاغذ صافی، صاف شدند. از نمونه‌های صاف شده به مقدار لازم برداشته و میزان آهن و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل (Perkin-Elmer, 3030) اندازه‌گیری شد (Torabian and Zahedi, 2013).

برای تعیین درصد پروتئین دانه، ابتدا با روش اندوفنل آبی (Novozamsky *et al.*, 1974) میزان نیتروژن موجود در بذر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل GBC-Cintra 6، ساخت کشور Australia) اندازه‌گیری شد. سپس میزان پروتئین با ضرب میزان نیتروژن در عدد ۶/۲۵ محاسبه گردید و عدد به‌دست آمده در عملکرد دانه در هکتار ضرب شده و عملکرد پروتئین به‌دست آمد (Novozamsky *et al.*, 1974).

تجزیه‌ی آماری

تجزیه واریانس داده‌ها به‌وسیله‌ی نرم‌افزار SAS (SAS 9.4 Institute, 1985) و دستور ANOVA به‌صورت آزمایش کرت‌های خردشده (اسپلیت‌پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. همچنین رسم شکل‌ها با کمک نرم‌افزار Excel

انجام شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد تحت تأثیر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی نانو آهن و منگنز

Table 2- Analysis variance (mean squares) of yield and yield components under water deficit stress and spraying iron and manganese

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی (d.f)	تعداد برگ در بوته Number of leaf (per Plant^{-1})	وزن خشک برگ در بوته Leaf dry weight (per Plant^{-1})	وزن خشک ساقه در بوته Stem dry weight (per Plant^{-1})	وزن خشک غلاف با دانه Dry weight of pods with seeds	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	درصد پروتئین Protein percent
بلوک (Replication)	2	147.47	2.39	1.56	261.94	0.43	0.45
تنش کم‌آبی (Water deficit stress)	2	42147.37**	42866.57**	50922.74**	239253.37**	13.90**	0.61
تکرار× تنش کم‌آبی (Replication × Water deficit stress)	4	466.74	880.17	130.44	4744.63	0.87	0.14
محلول‌پاشی (Foliar application)	9	1430.39**	9793.88**	24284.31**	62127.15**	5.60**	40.03**
تنش کم‌آبی × محلول‌پاشی (Water deficit stress × Foliar application)	18	15297.20**	8773.96**	16327.81**	41273.16**	3.10**	0.08**
خطای آزمایشی (Error)	54	1288.91	483.73	312.93	3349.30	0.51	0.34
ضریب تغییرات (%Coefficient of variation)		19.75	20.72	16.60	21.24	6.50	2.17
منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی (d.f)	تعداد دانه در متر مربع Number of seeds (m^2)	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-Seed weight	عملکرد دانه Yeild	عملکرد پروتئین Protein yield	میزان آهن دانه Fe	میزان منگنز دانه Mn
بلوک (Replication)	2	5373632.2	2.39	2413.33	330.46	3.5372	0.180
تنش کم‌آبی (Water deficit stress)	2	184619000.7**	18.93	1679002.13**	123301.65**	989.89**	143.56**
تکرار× تنش کم‌آبی (Replication × Water deficit stress)	4	5284397.0	14.95	98930.86	870.29	14.42	1.007
محلول‌پاشی (Foliar application)	9	37638683.6**	336.74**	242063.41**	32179.89**	280.809**	9.166**
تنش کم‌آبی × محلول‌پاشی (Water deficit stress × Foliar application)	18	23928754.4**	140.36**	391925.39**	28733.40**	39.52**	0.5064
خطای آزمایشی (Error)	54	2725466.0	32.72	21908.40	1654.16	13.41	0.4042
ضریب تغییرات (%Coefficient of variation)		22.49	17.14	15.20	15.22	5.13	4.52

** و *: به‌ترتیب به وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشند.

* and **: significant at the 5 and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش

Table 3- Mean comparison of Interaction effects of measured traits in experiment

تنش کم‌آبی (Water deficit stress)	محلول‌پاشی (Foliar application)	تعداد برگ در متر مربع Number of leaf per m^2	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g.m^{-2})	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g.m^{-2})	وزن خشک غلاف با بذر Dry weight of pods with seeds (g.m^{-2})	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد دانه Number of seeds (m^2)	وزن هزار دانه 1000 Seed Weight (gr)	عملکرد دانه Yeild (kg.ha^{-1})	درصد پروتئین دانه Seed Protein (%)	عملکرد پروتئین Protein yield (kg.ha^{-1})	میزان آهن دانه Fe (mg.kg^{-1})
Optimum irrigation	(Without foliar application)	168.0^{e-j}	86.66^{d-i}	60.0^{k-o}	270.67^{d-h}	10.33^{ef}	7264^{e-h}	27.86^{e-l}	1125.33^{efg}	23.75^{de}	267.30^{e-i}	59.35^{hi}
	(Foliar application pure water)	154.66^{g-k}	101.33^{c-f}	84.0^{h-k}	358.67^{cd}	9.0^{gh}	6395^{f-k}	55.46^{a}	1218.67^{efg}	24.03^{d}	291.96^{def}	76.48^{abc}
	(1 in 1000 a nano-Fe chelate)	437.33^{a}	268.53^{a}	427.5^{a}	338.80^{def}	12.33^{ab}	10104^{cd}	28.30^{e-l}	1092.0^{fgh}	26.73^{bc}	291.93^{def}	80.61^{a}
	(3 in 1000 a nano-Fe chelate)	172.0^{e-j}	136.13^{bc}	122.67^{efg}	439.6^{bc}	12.66^{a}	13999^{ab}	26.90^{f-l}	1657.33^{ab}	26.0^{c}	430.93^{b}	78.44^{ab}
	(1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	216.0^{def}	96.0d^{ef}	100.40^{ghi}	358.26^{cd}	11.66^{a-d}	11107^{cd}	24.06^{jkl}	1224.0^{def}	27.30^{b}	334.30^{cd}	76.27^{a-d}
	(3 in 1000 a nano-Mn chelate)	153.33^{g-k}	136.0^{bc}	66.66^{j-n}	208.0^{g-m}	10.66^{def}	5955^{g-k}	35.43^{c-g}	1146.67^{efg}	28.71^{a}	329.26^{cde}	77.67^{abc}
	(1 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	302.66^{c}	260.0^{a}	308.6^{b}	529.73^{b}	12.66^{a}	16545^{a}	24.20^{jkl}	1346.67^{cde}	29.15^{a}	392.63^{bc}	78.13^{ab}
	(1 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	169.33^{e-j}	106.66^{cde}	90.66^{hij}	350.67^{cde}	11.33^{b-e}	9237de	38.33^{cd}	1765.33^{a}	29.41^{a}	519.16^{a}	7753^{abc}
	(3 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	178.66^{d-i}	104.0^{cde}	84.93^{h-k}	354.8^{cd}	11.0^{c-f}	8603^{d-g}	36.46^{cde}	1122.67^{efg}	29.40^{a}	330.20^{cde}	77.59^{abc}
	(3 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	233.33^{d}	153.20^{b}	146.67^{de}	174.8^{i-m}	11.33^{b-e}	4023^{kl}	41.70^{bc}	672.0^{lmn}	23.15^{e}	154.66^{k-p}	71.84^{c-f}
Water deficit at Reproductive stage	(Without foliar application)	108.0^{k}	54.80^{h-k}	37.46^{o}	153.73^{lm}	11.66^{a-d}	3965^{kl}	38.43^{cd}	376.0^{o}	24.12^{f}	90.76^{p}	58.33^{ij}
	(Foliar application pure water)	156.0^{g-k}	46.56^{jk}	49.86^{mno}	186.13^{g-m}	8.66^{h}	4913^{h-l}	35.66^{c-g}	442.67^{no}	25.11^{e}	111.03^{op}	77.29^{abc}
	(1 in 1000 a nano-Fe chelate)	124.0^{ijk}	88.66^{d-h}	109.46^{fgh}	279.60^{d-g}	11.66^{a-d}	8575^{d-g}	26.66^{g-l}	513.33^{no}	26.26^{d}	134.73^{nop}	73.83^{b-e}
	(3 in 1000 a nano-Fe chelate)	220.0^{de}	92.66^{d-g}	96.0^{ghi}	156.53^{h-m}	11.33^{b-e}	6759^{e-j}	25.70^{i-l}	846.67^{i-m}	26.01^{d}	220.23^{g-k}	79.38^{ab}
	(1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	157.33^{f-k}	84.20^{d-i}	78.53^{i-m}	274.0^{d-h}	8.0^{h}	9028^{def}	21.36^{kl}	772.0^{klm}	27.53^{c}	212.23^{h-l}	78.09^{ab}
	(3 in 1000 a nano-Mn chelate)	122.66^{ijk}	72.80^{e-k}	80.67^{h-l}	256.0^{e-i}	10.0^{fg}	6993^{e-i}	33.16^{c-j}	953.33^{g-k}	28.56^{b}	272.26^{d-h}	77.29^{abc}
	(1 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	222.66^{de}	133.60^{bc}	136.0^{def}	484.80^{b}	8.66^{h}	12125^{bc}	42.06^{bc}	1474.67^{bc}	28.45^{b}	419.20^{b}	79.09^{ab}

	(1 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	373.33^b	269.60^a	229.33^c	782.53^a	10.0^fg	16156^a	39.33^bcd	1437.33^bcd	29.50^a	424.16^b	70.38^d-g
	(3 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	146.66^g-k	65.46^f-k	64.53^j-o	252.0^f-k	11.66^a-d	6557^e-k	39.26^bcd	1086.67^f-i	29.51^a	320.66^de	78.21^ab
	(3 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	198.66^d-g	133.46^bc	154.26^d	254.13^f-j	11.33^b-e	6316^g-k	36.06^c-f	1610.67^ab	25.13^e	405.0^b	65.10^gh
Water deficit at Vegetative stage	(Without foliar application)	157.33^f-k	72.93^e-k	55.33^l-o	166.67^i-m	11.0^c-f	6004^g-k	26.03^h-l	870.67^h-l	23.81^d	207.33^h-l	52.81^j
	(Foliar application pure water)	108.0^k	53.86^h-k	46.13^no	160.4^j-m	11.33^b-e	4203^jkl	37.96^cd	773.33^klm	24.63^cd	190.40^j-n	68.07^efg
	(1 in 1000 a nano-Fe chelate)	170.66^e-j	81.06^e-j	82.40^h-l	236.93^g-l	12.0^abc	6224^g-k	27.20^e-l	776.0^klm	25.76^c	201.16^i-m	66.85^fg
	(3 in 1000 a nano-Fe chelate)	173.33^e-j	76.0^e-k	62.26^j-o	184.67^lm	12.33^ab	4355^i-l	20.20^l	837.33^j-m	27.15^b	227.46^f-j	55.31^ij
	(1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	184.0^d-h	119.86^bcd	145.46^de	173.47^i-m	11.33^b-e	4123^jkl	38.40^cd	1042.67^f-j	27.13^b	282.96^d-g	69.36^efg
	(3 in 1000 a nano-Mn chelate)	117.33^jk	51.86^ijk	46.0^no	158.0^klm	12.33^ab	4141^jkl	30.0^d-k	1154.67^efg	28.79^a	332.53^cde	66.54^fg
	(1 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	165.33^e-k	78.93^e-j	83.86^h-l	192.53^g-m	11.0^c-f	4291^jkl	35.06c-h	504.0^no	29.05^a	146.46^l-p	66.89^fg
	(1 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	114.66^jk	57.86^g-k	45.73^no	158.0^klm	11.0^c-f	3225^l	47.96^ab	628.0^mn	28.77^a	181.86^j-n	66.90^fg
	(3 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	129.33^h-k	58.20^g-k	42.0^no	163.60^i-m	12.33^ab	5072^h-l	27.96^e-l	449.33^no	29.54^a	132.76^nop	69.24^efg
	(3 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	116.0^jk	42.66^k	60.53^k-o	113.33^m	11.33^b-e	3947^kl	33.70^c-i	640.0l^mn	25.33^c	161.73^j-o	65.07^gh
LSD (0.05)		58.7	36.0	28.9	94.7	1.17	2702.5	9.36	242.3	0.96	66.57	5.64

در هر صفت و گروه مقایسه شده، تیمارهایی که با حرف یکسان نشان داده شده‌اند، دارای اختلاف معنی‌دار نیستند

Means in each column and for each treatment, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using LSD Test.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تنش کم‌آبی برای همه‌ی صفات مورد مطالعه به‌جز درصد پروتئین و وزن ۱۰۰۰ دانه، اثر محلول‌پاشی برای تمام صفات مورد بررسی و نیز اثر متقابل تنش کم‌آبی × محلول‌پاشی در مورد تمام صفات به‌جز صفت منگنز دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی × محلول‌پاشی نشان داد که بیش‌ترین تعداد برگ مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن با ۴۳۷/۳ برگ در مترمربع بود. ۱۵ تیمار (دارای حرف k) کم‌ترین تعداد برگ در مترمربع را داشتند. وزن خشک برگ در تیمارهای آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن (۴۳۷/۳ برگ در مترمربع)، یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن و یک و نیم در ۱۰۰۰ نانوکلات منگنز و قطع آبیاری در مرحله زایشی و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانوکلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانوکلات منگنز بیش از تیمارهای دیگر بود. کم‌ترین وزن خشک برگ مربوط به ۱۱ تیمار بود که هیچ‌کدام مربوط به آبیاری مطلوب نبود (جدول ۴).

به‌طور کلی، صرف نظر از سطوح مختلف تنش کم‌آبی، در اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن و منگنز مقادیر مربوط به تمام صفات مورد بررسی از جمله تعداد و وزن خشک برگ افزایش یافت (جدول ۳). نتایج دیگر محققان نیز حاکی از افزایش وزن خشک برگ و اندام هوایی در نتیجه‌ی استفاده از عناصر آهن و منگنز می‌باشد (Jabeen and Rafiq, 2011; Zayed *et al*., 2011).

با توجه به نقش ساختاری عناصر آهن و منگنز در سنتز پروتئین‌ها، با مصرف این عناصر، مقاومت گیاهان تحت تنش‌های محیطی مورد انتظار است (Cakmak, 2000). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بالاترین مقدار وزن خشک ساقه مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن (۴۲۷/۵ گرم در مترمربع) و کم‌ترین مقدار این صفت نیز مربوط به تیمار اعمال تنش در مرحله رشد زایشی و بدون محلول‌پاشی (۳۷/۴۶ گرم در مترمربع) و ۱۰ تیمار دیگر بود (جدول ۳). اعمال تنش کمبود آب در مرحله رشد زایشی ۳۷/۵۶ درصد و در مرحله رشد رویشی ۷/۷۸ درصد نسبت به آبیاری مطلوب موجب کاهش وزن خشک ساقه گردید. محققان در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که مصرف یک و نیم کیلوگرم در هکتار کلات آهن به‌شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن به نسبت بیش‌تری وزن خشک اندام هوایی، ریشه، برگ، ساقه و طول ریشه گیاه ریحان را افزایش داد (Parande and Mirza, 2011). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تنش کم‌آبی در محلول‌پاشی نشان داد که کم‌ترین مقدار پروتئین دانه (۲۳/۱۵ ٪) در شرایط عدم اعمال تنش و محلول‌پاشی توأم سه در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز و بیش‌ترین مقدار پروتئین دانه (۲۹/۵۴ ٪) نیز در شرایط اعمال تنش کم‌آبی در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی توأم یک در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز مشاهده گردید. محلول‌پاشی توأم نانوکلات آهن و منگنز می‌تواند اثرات مخرب ناشی از تنش کم‌آبی را بر میزان پروتئین دانه تعدیل کند. افزایش پروتئین دانه با کاربرد عناصر آهن، روی و منگنز توسط برخی محققین گزارش شده است (Patel *et al*., 1993: Navaei and Malakouti, 2002).

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۳، اعمال تنش در مراحل رشد رویشی و زایشی به‌ترتیب ۴۳/۲۰ و ۳۸/۴۲ درصد وزن خشک غلاف با دانه را نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داد. بیش‌ترین میزان این صفت مربوط به تیمار تلفیقی تنش در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز (۷۸۲/۵ گرم در مترمربع) و کم‌ترین میزان آن مربوط به تیمار تلفیقی اعمال تنش در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی سه در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز (۱۱۱/۳ گرم در مترمربع) و ۱۳ تیمار دیگر بود. گزارش کیمنتی و همکاران (۲۰۰۲) تأییدکننده نتایج ذکر شده است (Chimenti *et al*., 2002).

بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف از تیمارهای تلفیقی آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی سه در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و یک و نیم در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز (۱۲/۶۶) و ۹ تیمار دیگر به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار این صفت نیز در تیمار تلفیقی اعمال تنش در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی یک و نیم در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز (۸/۰) و سه تیمار دیگر مشاهده شد (جدول ۳). محلول‌پاشی نانو کلات آهن در شرایط اعمال تنش در مرحله رشد رویشی موجب افزایش تعداد دانه در غلاف شد که احتمالاً به‌دلیل تأثیر این عنصر در افزایش توان مقاومت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه در برابر اثرات مخرب ناشی کمبود آب در مرحله رشد رویشی می‌باشد. محققان گزارش‌های مشابهی را اعلام کردند (Morrison and Stewart, 2002; Champolivier and Merrien, 1996).

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه بیش‌ترین تعداد دانه در مترمربع از تیمار تلفیقی آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و یک و نیم در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز (۱۶۵۴۵) حاصل شد که با تیمار تنش در مرحله رشد زایشی و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز (۱۶۱۵۶) و تیمار تنش در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی سه در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن (۱۳۹۹۹) دارای اختلاف معنی‌داری نبود. کم‌ترین مقدار این صفت مربوط به تیمار تنش در

مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز (۳۲۲۵) بود (جدول ۳). وقتی گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، برای این‌که از اثرات تنش خشکی فرار کند اقدام به کوتاه کردن دوره رشد خود می‌کند بنابراین، به‌دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها و تعداد دانه کم می‌شود. ساویتری و همکاران (Savithri *et al*., 1984) دریافتند که مصرف ۲۵ یا ۵۰ کیلوگرم سولفات منگنز، ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات آهن در هکتار موجب افزایش تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه سویا می‌گردد.

مقایسه میانگین‌های وزن ۱۰۰۰ دانه نشان می‌دهد که بیش‌ترین وزن ۱۰۰۰ دانه با ۵۵/۴۶ گرم از ترکیب تیماری محلول‌پاشی آب خالص و آبیاری کامل و همچنین تنش در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز به‌دست آمد. کم‌ترین وزن ۱۰۰۰ دانه با ۲۰/۲ گرم از اعمال تنش کمبود آب در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی سه در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و ۱۱ تیمار دیگر حاصل شد (جدول ۳).

با اعمال تنش کمبود آب، در هر مرحله از رشد گیاه که باشد، عملکرد دانه همیشه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Bouchereau *et al*., 1996) بنابراین، محلول‌پاشی یک راهکار مناسب برای کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی محسوب می‌شود. نتایج حاصل از مقایسات میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی × تنش کم‌آبی نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در تیمار آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز (۱۷۶۵ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار تنش در مرحله رشد زایشی و عدم اعمال محلول‌پاشی (با ۳۷۶ کیلوگرم در هکتار) و چهار تیمار دیگر بود (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد در این آزمایش، علت افزایش عملکرد دانه تأثیر عناصر آهن و منگنز بر کاهش ریزش گل و غلاف ناشی از تنش بوده است. بنابراین، با توجه به آثار ناشی از تنش کم‌آبی چنین احتمالی وجود دارد که انجام محلول‌پاشی نانو کلات آهن و منگنز، می‌تواند با تحریک رشد و تقسیم سلولی، دانه را به یک مخزن قوی مبدل ساخته و در نتیجه با پذیرفتن مواد فتوسنتزی بیش‌تر، مقادیر ماده خشک بیش‌تری در دانه ذخیره گردد. همچنین، کاهش عملکرد در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی متأثر از کاهش تعداد دانه در غلاف بوده است. اغلب نتایج محققین نیز حاکی از تأثیر منفی و معنی‌دار تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان به‌خصوص در دوره رشد زایشی گیاه می‌باشد و قاعدتاً برای دستیابی به حداکثر عملکرد می‌بایست از برخورد گیاه با تنش خشکی به‌خصوص در سه مرحله ظهورغلاف‌ها، گلدهی و شیری شدن دانه‌ها اجتناب نمود (Göksoy *et al*., 2004).

تنش کم‌آبی در مرحله رشد زایشی در شرایط عدم محلول‌پاشی با کاهش عملکرد دانه، باعث کاهش عملکرد پروتئین شد. محققان گزارش کردند که عدم محلول‌پاشی محتوای پروتئین کل را در شرایط تنش رطوبتی کاهش می‌دهد (Fathi amirkhiz *et al*., 2011). عنصر آهن برای ساخت پروتئین ضروری است؛ به‌طوری که تعداد ریبوزوم سلول‌های برگ با کمبود این عنصر کاهش می‌یابد (Rhode, 1999). ترکیب عناصر آهن و منگنز با افزایش سنتز پروتئین‌های محلول و افزایش فتوسنتز در تغییر و تبدیل کربن فتوسنتزی در شرایط تنش مؤثر است (Savithri *et al*., 1984; Jafar dokht *et al*., 2015). کم‌ترین مقدار عملکرد پروتئین دانه (۹۰/۷۶ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش در مرحله رشد زایشی و عدم اعمال محلول‌پاشی و بیش‌ترین مقدار عملکرد پروتئین دانه (۵۱۹/۲ کیلوگرم در هکتار) نیز در شرایط عدم اعمال تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی توأم یک در ۱۰۰۰ نانو کلات آهن و سه در ۱۰۰۰ نانو کلات منگنز مشاهده گردید (جدول ۳). تنش در مرحله رشد زایشی به علت کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها و نیز عدم جذب کافی عناصر کم‌مصرف موجب کاهش عملکرد پروتئین در این تیمار شد که با نتایج محققان دیگر مبنی بر کاهش عملکرد پروتئین در شرایط تنش کم‌آبی و عدم کاربرد محلول‌پاشی مطابقت داشت (Jafar dokht *et al*., 2015).

بیشترین مقدار آهن دانه در تیمار عدم اعمال تنش و محلول‌پاشی یک در هزار نانو کلات آهن (۸۰/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار آن در تیمار اعمال تنش در مرحله رشد زایشی و عدم اعمال محلول‌پاشی (۵۲/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۳). نتایج مطالعه‌ی حاضر با(Jabbari *et al*., 2014) در مورد محلول‌پاشی آهن هم‌خوانی داشت. بر اساس نتایج حاصل از جدول ۴ تنش در دوره رشد زایشی (۲۶/۲۳ ٪) بیشتر از تنش در دوره رشد رویشی (۱۷/۱۹ ٪) باعث کاهش غلظت منگنز در دانه نسبت به شاهد آبیاری شد. نتایج حاصل از جدول ۴ نیز مشخص کرد که محلول‌پاشی توأم یک در هزار نانو کلات آهن و سه در هزار نانو کلات منگنز منجر به افزایش این عنصر به میزان (۲۲/۸۶ ٪) نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شد. با توجه به کاهش جذب عناصر توسط دانه به نظر می‌رسد که علت این امر کاهش شدید عملکرد دانه با افزایش شدت تنش کم‌آبی است که موجب کوچک شدن مخزن فیزیولوژیک عناصر (دانه) و در نتیجه کاهش کل جذب عناصر در دانه گردیده است. همچنین براساس نظر پژوهشگران تنش خشکی در مرحله زایشی انتقال عناصر آهن و منگنز را به دانه محدود می‌کند (Heidari and Jahantighi, 2013).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی برای صفت منگنز دانه

Table 4- Mean comparison effects of water deficit and foliar application for seed manganese content

تنش کم‌آبی (Water deficit)	Optimum irrigation	16.41[a]
	Water deficit at Reproductive stage	13.59[b]
	Water deficit at Vegetative stage	12.10[c]
	LSD (0.05)	0.719
محلول‌پاشی (Foliar application)	(Without foliar application)	12.09[e]
	(Foliar application pure water)	13.52[d]
	(1 in 1000 a nano-Fe chelate)	14.83[ab]
	(3 in 1000 a nano-Fe chelate)	13.96[cd]
	(1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	14.23[bc]
	(3 in 1000 a nano-Mn chelate)	14.8[ab]
	(1 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	14.8[ab]
	(1 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	14.86[a]
	(3 in 1000 a nano-Fe + 1.5 in 1000 a nano-Mn chelate)	14.67[ab]
	(3 in 1000 a nano-Fe + 3 in 1000 a nano-Mn chelate)	12.55[e]
	LSD (0.05)	0.600

میانگین‌هایی که در ردیف تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی، حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Similar letters in each column and each level water deficit indicate no significant difference according to LSD 5% Test

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی در هر دو مرحله رویشی و زایشی اثر معنی‌داری بر کاهش عملکرد دانه ماش دارد. اما اعمال تنش در مرحله زایشی بیشترین تأثیر را بر کاهش عملکرد دانه و سایر صفات مورد ارزیابی در این تحقیق داشت. همچنین مشاهده شد که مرحله زایشی حساس‌ترین مرحله گیاه به تنش کم‌آبی می‌باشد. در بین عناصر نانو کلات، عنصرآهن به‌صورت منفرد و همچنین در ترکیب با عنصر منگنز، بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه و سایر صفات مورد ارزیابی در این آزمایش دارا بود. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای نانو کلات آهن و منگنز در تغذیه گیاه ماش تحت شرایط مناطق خشک و کم آب نقش قابل ملاحظه‌ای در کاهش اثرات سوء تنش کمبود آب و بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه داشته باشد، البته استفاده از ترکیب تیمار عناصر نانو کلات بستگی به شدت تنش کمبود آب خواهد داشت.

References

1. Balakrishnan, K. 2000. Peroxidase activity as an indicator of the iron deficiency in banana. Indian Journal of Plant Physiology 5 (4): 389-391.
2. Bouchereau, A., Clossais-Besnard, N., Bensaoud, A., Leport, L., and Renard, A. M. 1996. Water stress effects on rapeseed quality. European Journal of Agronomy 5 (1-2): 19-30.
3. Cakmak, I. 2000. Tansley Review No. 111 Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. The New Phytologist 146 (2): 185-205.
4. Champolivier, L., and Merrien, A. 1996. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. oleifera on yield, yield components and seed quality. European Journal of Agronomy 5 (3-4): 153-160.
5. Chimenti, C. A., Pearson, J., and Hall, A. J. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. Field Crops Research 75 (2-3): 235-246.
6. El Hafid, R., Smith, D. H., Karrou, M., and Samir, K. 1998. Physiological responses of spring durum wheat cultivars to early-season drought in a Mediterranean environment. Annals of Botany 81 (2): 363-370.
7. Ezzat, M., Abd El Lateef, M. M., Tawfik, M., Hozyin, B. A., Bakry, T. A., Elewa, A. A., Farrag, and Amany, A Bahr. 2012. Soil and foliar fertilization of mungbean (*Vigna radlata* (L) wilczek) under Egyptian conditions. Elixir Agriculture 47: 8622-8628.
8. Fageria, N. K., and Baligar, V. C. 2001. Lowland rice response to nitrogen fertilization. Communications in Soil Science and Plant Analysis 32 (9-10): 1405-1429.
9. Fathi amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., Modarres Sanavi, S. A. M., and Heshmati, S. 2011. The Effects of Soil and Foliar Application of Fe on some Biochemical Characteristics of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Two Irrigation Regimes. Iranian Journal of Field Crop Science 42 (3): 509-518. (in Persian with English abstract).
10. Firouzabadi, B., and Farahani, I. 2013. Effect of Planting Date on Seed Yield and Its Components of Mungbean

(*Vigna radiata* L.) Genotypes in Varamin Region in Iran. Seed and Plant Production 29 (3): 387-401. (in Persian with English abstract).
11. Göksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M., and Dağüstü, N. 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research 87 (2-3): 167-178.
12. Graham, P. H., and Vance, C. P. 2003. Legumes: importance and constraints to greater use. Plant physiology 131 (3): 872-877.
13. Heidari, M., and Jahantighi, H. 2013. Evaluate Effect of Water Stress and Different Amounts of Nitrogen Fertilizer on Seed Quality of Black Cumin (*Nigella sativa* L). Iranian Journal of Field Crops Research 11 (4): 640-647. (in Persian with English abstract).
14. Jabbari, H., Akbari, A., Khosh kholgh Sima, N., Alahdadi, I. Shirani rad, A., Tabatabaee, S., and Hamed, S. 2014. Comparison of antioxidant enzymes and proline roles in drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Oil Plant Prudaction 3 (1):15-31. (in Persian with English abstract).
15. Jabeen, N., and Ahmad, R. 2011. Effect of foliar-applied boron and manganese on growth and biochemical activities in sunflower under saline conditions. Pakistan Journal of Botany 43 (2): 1271-1282.
16. Jafar dokht, R., Mosavi Nik, S. M., Mehraban, A., and Basiri, M. 2015. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological cahracteristics and nutrient uptake in mung bean. Electronic Journal of Crop Production 8 (1): 121-141. (in Persian with English abstract).
17. Khodabakhsh, F., Amooaghaie, A., Mostajeran, A., and Emtiazi, G. 2011. Effect of hydro and osmopriming in two commercial chickpea cultivars on germination, growth parameters and nodules number in salt stress condition. Iranian Journal of Plant Biology 2 (6): 71-86. (in Persian with English abstract).
18. Maleki Farahani, S., Khalesi, A., and Sharghi, Y. 2015. Effect of Nano Iron Chelate Fertilizer on Iron Absorption and Saffron (*Crocus sativus* L.) Quantitative and Qualitative Characteristics. Asian Journal of Biological Sciences 8: 72-82.
19. Martin, D. L., Stegman, E. C., and Fereres, E. 1990. Irrigation scheduling principles. IN: Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 1990. p 155-203, 19 fig, 9 tab, 81 ref.
20. Martt, J. 1990. Grain Legumes: Evolution and Genetic Resources. Cambridge University Press.
21. Monica, R. C., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and Higher Plants. Caryologia 62 (2): 161-65.
22. Morrison, M. J., and Stewart, D. W. 2002. Heat stress during flowering in summer Brassica. Crop science 42 (3): 797-803.
23. Navaei, F., and Malakouti, M. J. 2002. Study of effect of balance nourishment of elements on quantitaive and quality of corn. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 16: 161-168. (in Persian with English abstract).
24. Novozamsky, I., Van Eck, R., Van Schouwenburg, J. Ch., and Walinga, I. 1974. Total Nitrogen Determination in Plant Material by Means of the Indophenol-Blue Method. Netherlands Journal of Agricultural Science.
25. Parande, H., and Mirza, M. 2011. Comparison of Nano Fe Chelate with Fe Chelate Effect on Growth Parameters and Antioxidant Enzymes Activity of *Ocimum Basilicum*. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal 1 (4): 89-98.
26. Patel, M. S., Sutar, D. M., and Kanizaria, M. V. 1993. Effect of foliar application of iron and sulfur in curing chlorosis in groundnut. Journal of the Indian Society of Soil Science 41: 103-105.
27. Rhode, T. E. 1999. Integrating Urban and Agriculture Water Management in Southern Morocco. Arid Lands News Letter 45.
28. Ruiz, J. A., Perez-Vendrell, A. M., and Esteve-Garcia, E. 2000. Effect of dietary iron and copper on performance and oxidative stability in broiler leg meat. British Poultry Science 41 (2): 163-167.
29. Ruiz, J. M., Baghour, M., and Romero, L. 2000. Efficiency of the Different genotypes of tomato in relation to foliar content of Fe and the response of some Bioindicators. Journal of Plant Nutrition 23 (11-12): 1777-86.
30. SAS Institute. 1985. SAS user's guide: statistics, SAS Institute (2).
31. Savithri, P., Boshani, N. K., Manickam, T. S., and Kothandaraman, G. V. 1984. Response of soybean to micronutrient application. Madras agricultural journal.
32. Taiz, L., and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology, 3rd. edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts. USA.
33. Torabian, S., and Zahedi, M. 2013. Effects of Foliar Application of Common and Nano-sized of Iron Sulphate on the Growth of Sunflower Cultivars under Salinity. Iranian Journal of Field Crop Science 44 (1): 109-118. (in Persian with English abstract).
34. Uddin, S., and Parvin, S. 2013. Yield Performance of Mungbean (*Vigna radiata* L.) as Influenced by Irrigation. International Journal of Agronomy and Plant Production 4 (1): 3659-3667.
35. Vanclooster, M., Gonzalez, C., Vanderborgh, J., Mallants. D., and Diels, J. 1994. An indirect calibration procedure for using TDR in solute transport studies. Soil Science Society of American Journal 3: 107-127.
36. Welch, R. M., Allaway, W. H., House, W. A., and Kubota, J. 1991. Geographic Distribution of Trace Element

Problems. Micronutrients in agriculture micronutrientsi 2: 31-57.
37. Zayed, B. A., Salem, A. K. M., and Sharkawy, H. M. El., 2011. Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oriza Sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. World Journal of Agricultural Sciences 7 (2): 179-84.
38. Zhu, H., Han, J., Xiao, J. Q., and Jin, Y. 2008. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nano particles by pumpkin plants. Journal of Environmental monitoring 10 (6): 713-17.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 3, Fall. 2018, p. 651-664

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۶۶۴-۶۵۱

Effect of Nano Iron and Manganese Fertilizers on Mung Bean Growth and Yield in Water Deficit Stress Condition

Y. Izadi[1*]- S. A. M. Modares Sanavey[2]

Received: 10-06-2018
Accepted: 11-01-2018

Introduction

Pulse crops have a huge role in Agriculture and daily life. The mung bean (*Vigna radiate* L. Wilczek) is one of the most important pulse crops in the world. It is a protein rich staple food and contains about 25 percent protein. Producing higher potential yield in comparison with other crops, is one of the greatest feature of the mung bean crop. Also, it improves the soil fertility by fixing the atmospheric nitrogen. Water deficit affects different growth and development stages of mung bean. In this regard, choosing the landraces and suitable cultivars and nutrition and irrigation management, play an important role in increasing of quantity and quality of pulses and reduce of negative effects of various environmental stresses on plants. The present research aimed to study the effect of water deficit stress on quantity and quality mung bean traits, Parto variety under applied and non-applied of foliar application of nano-iron and manganese chelates.

Materials and Methods

In order to study the effects of water deficit stress on reduction of quality traits of *Vigna Radiata* (Parto variety) under iron and manganese nano-chelate foliar application, an experiment was conducted as split-plot management in randomized complete block design with three replications during 2013-2014 in the research farm of agricultural college, Tarbiat Modares University. To determine the nature of soil, the amount of mineral elements (nitrogen, iron and manganese), the percent of organic carbon and soil acidity were sampled from zero depth to 30 centimeter and from 30 to 60 centimeters of soil in the zigzag pattern. Experimental treatments in main plots were three levels of irrigation regime (optimum irrigation, water deficit at reproductive stage and water deficit at vegetative stage) and in subplots were 10 levels of foliar application (without foliar application, foliar application pure water, one in a thousand a nano-Fe chelate, three in thousand a nano-Fe chelate, 1.5 in thousand a nano-Mn chelate, three in thousand a nano-Mn chelate, one in thousand a nano-Fe + 1.5 in thousand a nano-Mn chelate, one in thousand a nano-Fe + three in thousand a nano-Mn chelate, three in thousand a nano-Fe + 1.5 in thousand a nano-Mn chelate, three in thousand a nano-Fe + three in thousand a nano-Mn chelate) at withholding irrigation stage. SAS software has been used to analysis data, the analyses parameters were including variance and means comparison have been compared by using the LSD Test at probability level of 5%.

Results and Discussion

The results showed that water deficit stress and iron and manganese nano-chelate foliar application were significant for the most of plant traits at 1% probability level. Among of water deficit stress levels, the lowest yield and yield components for most traits, stress at reproductive stage and the highest amount in control (optimum irrigation). Also, the highest yield and yield component was achieved from different levels of iron and manganese nano-chelate spraying at the vegetative and reproductive stage, especially in the vegetative growth stage, while control spraying (no spray) led to decreasing yield and yield components in plant. Also, interaction between two main treatments were significant for the most of the traits at 1% probability level.

Conclusions

It can be concluded that water deficit stress at the reproductive stage had the most effect on reducing grain yield, protein yield and yield components, and using nanoparticles had the highest rates of grain yield, yield component and protein yield. The effects of water deficit can be reduced by spraying of nano-Fe and nano-Mn

1- Ph. D. Student, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University of Tehran, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: izady.nike70@gmail.com)

chelated. Also, it was observed that reproductive stage is the most vulnerable stage of the plant to the water deficit stress. Stress in this stage causes protein reduction by the plant and seed filling period. Regarding the effects resulted from water deficit stress, it is possible that spraying nano-chelated iron and manganese can make the seed a rich source by stimulating growth and cell division and as a result, more amount of dry material is preserved within the seed by adopting more photosynthetic materials. Among nano-chelated elements, iron and also mixed with manganese had the most effect on the seed yield and other studied traits in this test. Thus, it is suggested that these elements can be utilized as a factor for removing or decreasing stress and also increasing the production efficiency in the plants.

Keywords: Pulses, Protein yield, Seed yield, Water stress